クルマのカタログ写真をゲームでつくる

～グランツーリスモにおけるモデリングとレンダリングの話～

株式会社ポリフォニー・デジタル　　柏木　大樹

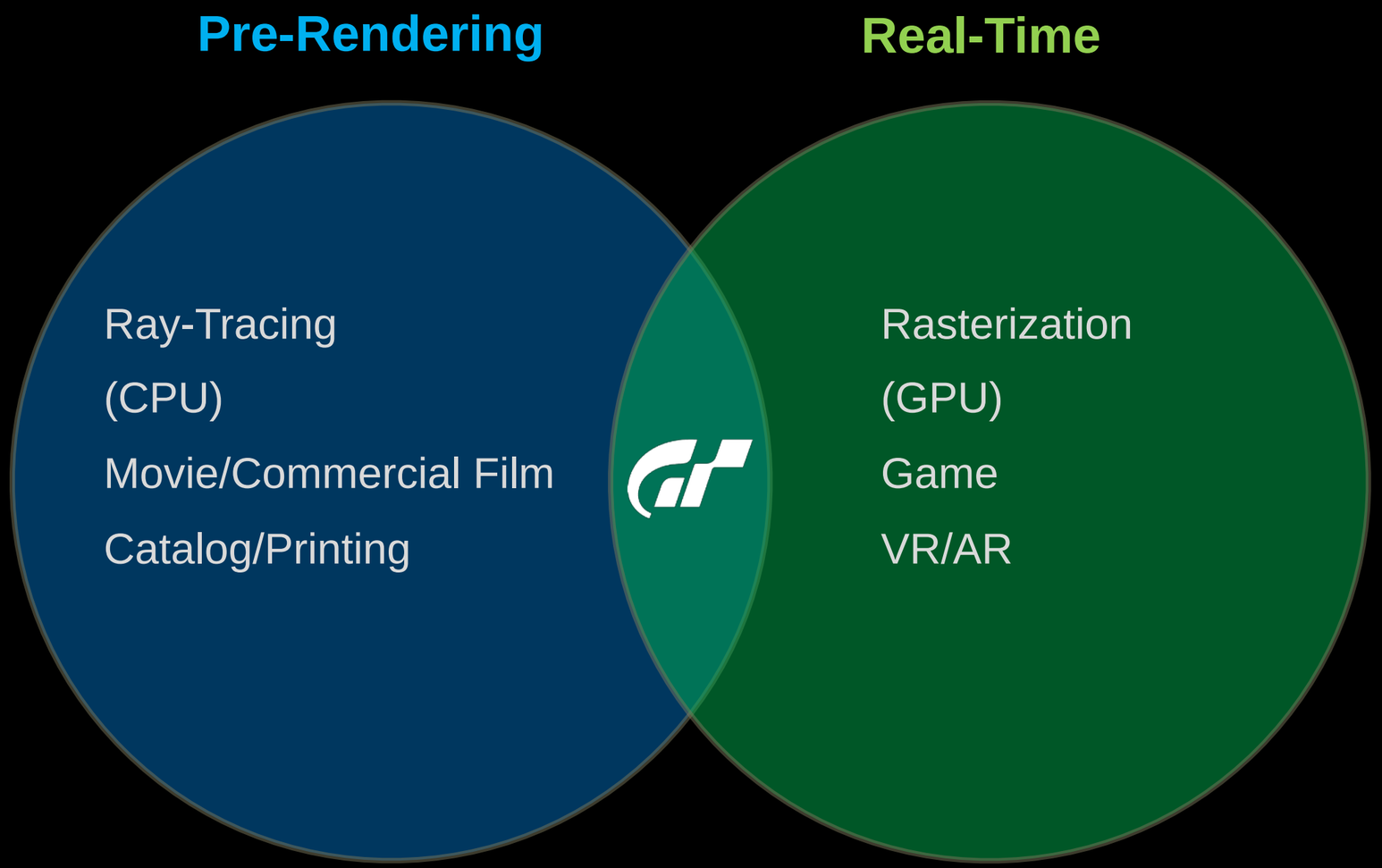
GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

“SCAPES” とは

INSIDE GRAN TURISMO SPORT Vol.3 “HOW TO USE SCAPES”

はじめに

今日は、この２つの円が交わる場所へ到達するための道のりについてお話します。



自己紹介

2002 – 2013　日産自動車デザイン本部

Design Visualization : 映像制作、レンダリングシステム開発

2013 – 2014　Lumiscaphe

Business Engineer : 業務用リアルタイムレンダリングシステム構築等

2014 – 現在　ポリフォニー・デジタル

Movie Designer : 映像制作、ツール開発他

クルマのCGまわり全般を生業としております。

アジェンダ

Chapter 1　自動車業界におけるCGの活用について。

Chapter 2　「グランツーリスモ」におけるモデリングの道のり。

Chapter 3　「グランツーリスモ」におけるレンダリングの道のり。

Chapter 4　「グランツーリスモ」におけるムービー制作について。

Chapter 1　自動車業界におけるCGの活用について。

1909年 未来派宣言

「咆哮をあげて疾走する自動車は、《サモトラケのニケ》よりも美しい」

Unique Forms of Continuity in Space : 1913 Umberto Boccioni

1909年 未来派宣言

「咆哮をあげて疾走する自動車は、《サモトラケのニケ》よりも美しい」

Unique Forms of Continuity in Space : 1913 Umberto Boccioni

Chapter 1　自動車業界におけるCGの活用について。

1909年 未来派宣言

「咆哮をあげて疾走する自動車は、《サモトラケのニケ》よりも美しい」

Unique Forms of Continuity in Space : 1913 Umberto Boccioni

Chapter 1　自動車業界におけるCGの活用について。

「素晴らしいクルマは彫刻作品であり、芸術である」

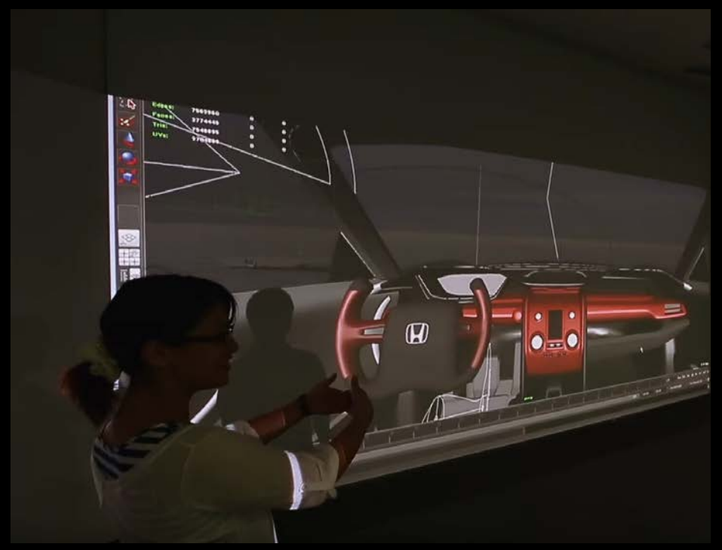
実際どのように自動車はデザインされているのでしょうか？

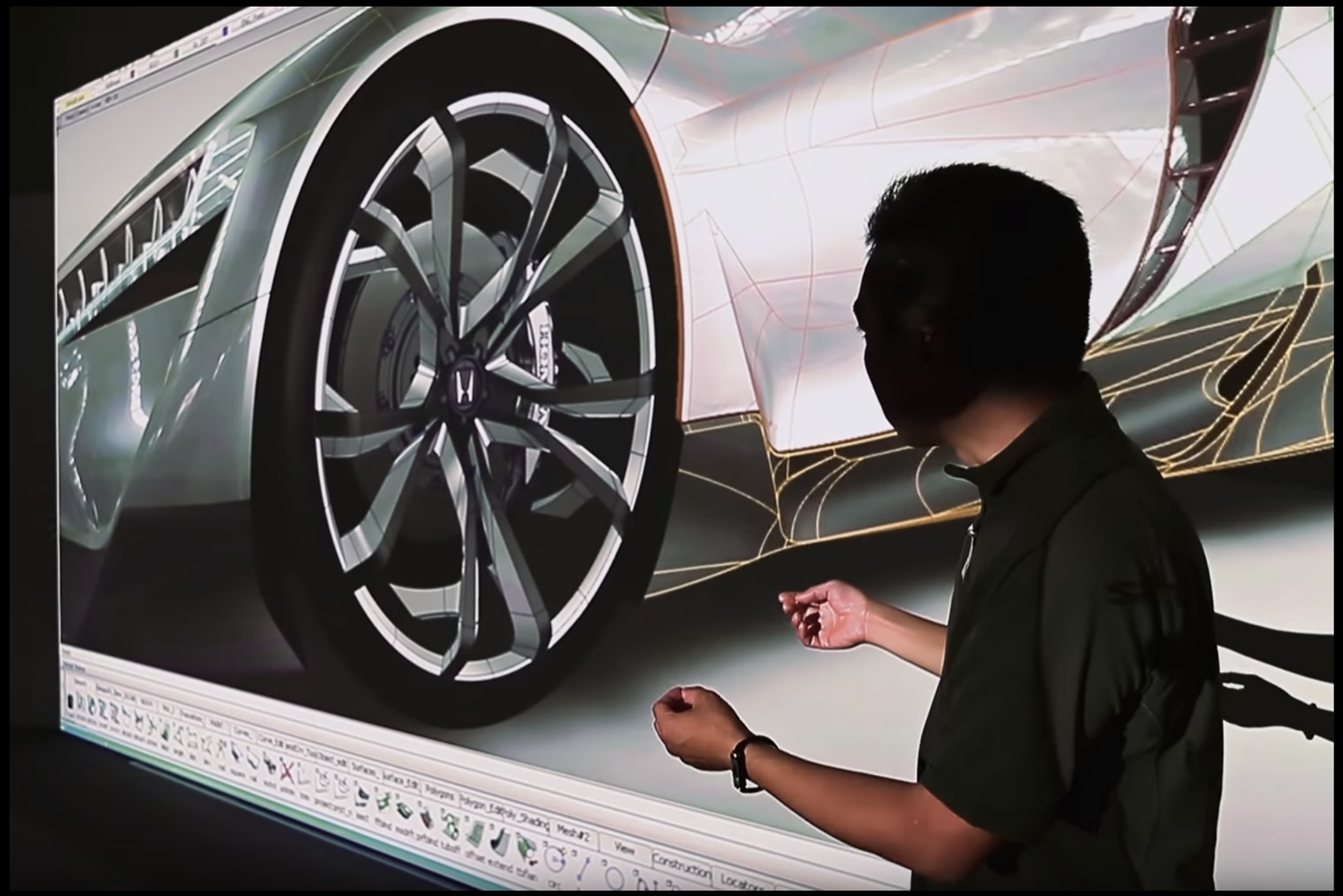
Chapter 1　自動車業界におけるCGの活用について。

クレイモデルを使って職人が手作業でつくっています。

Chapter 1　自動車業界におけるCGの活用について。

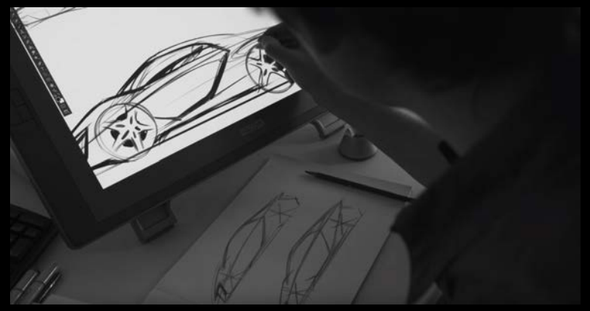
コンピューターを使ったデジタルワークフローでデザインします。



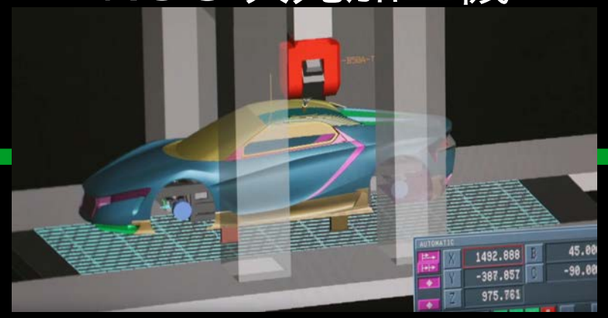


Chapter 1　自動車業界におけるCGの活用について。

2Dスケッチ

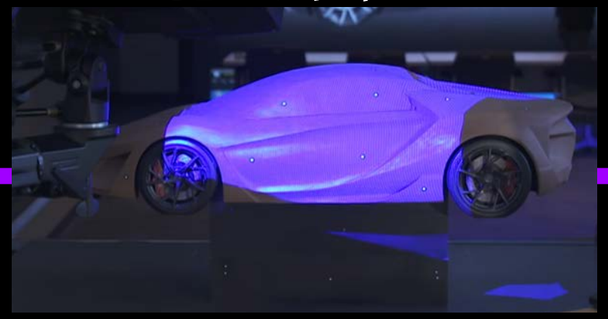


NC３次元加工機

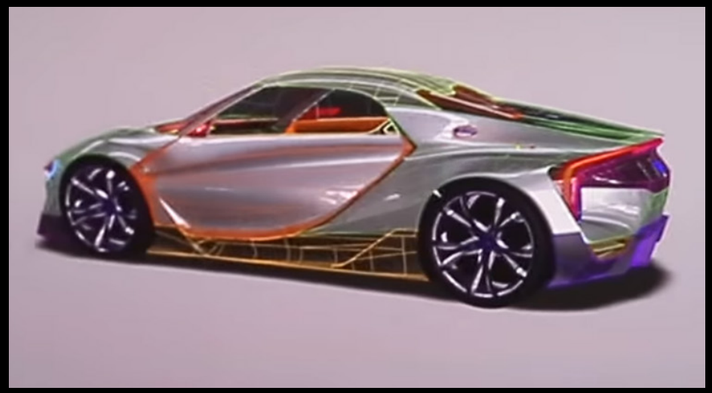


クレイモデル

3Dスキャン



デジタルモデル

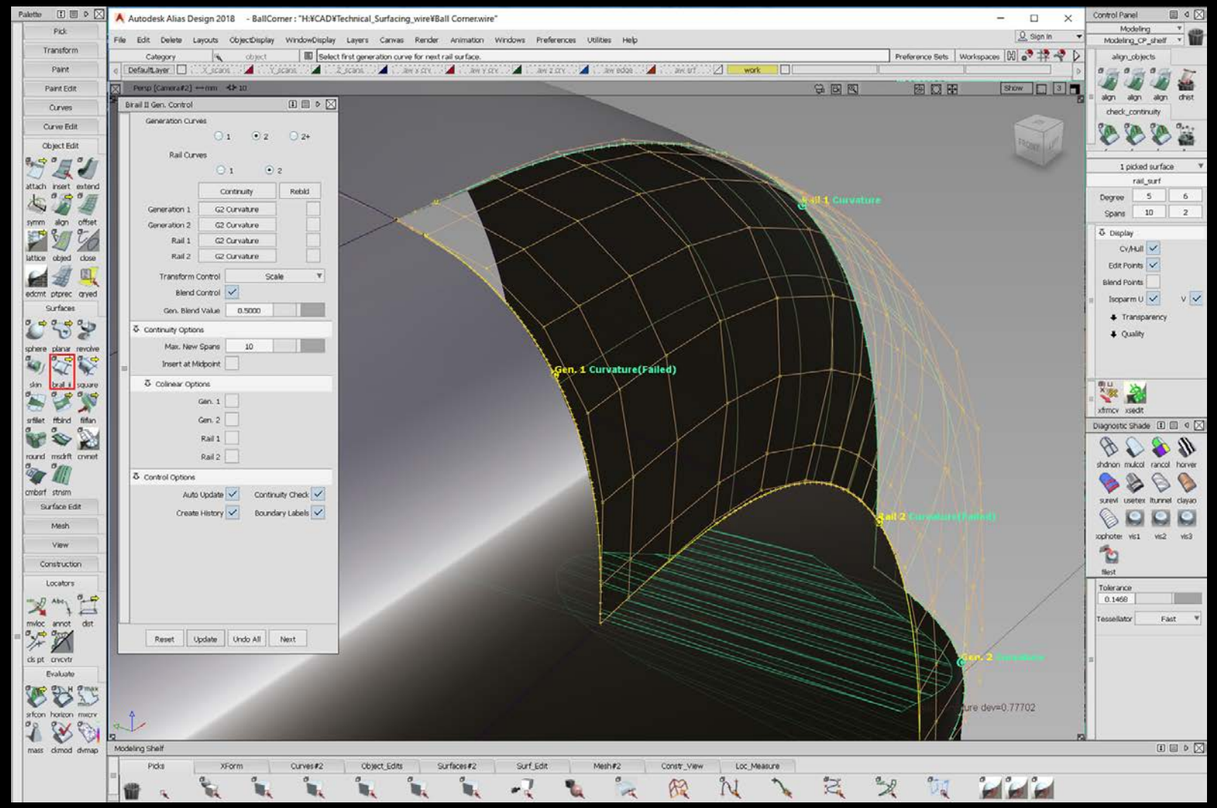


Chapter 1　自動車業界におけるCGの活用について。

デザインCAD ： デジタルで彫刻作品をつくるということ。

Autodesk社の “Alias” がデファクトスタンダード

- Nurbs サーフェイスモデリング
- ポリゴンとは全く考え方の異なるモデリング手法
- 鉄板を曲げながら接合していくようなイメージ
- デザイナーとモデラーがコミュニケーションしながら、
  立体を創造していく作業
- 許容誤差は 0.1～0.01mm ほど



Chapter 1　自動車業界におけるCGの活用について。

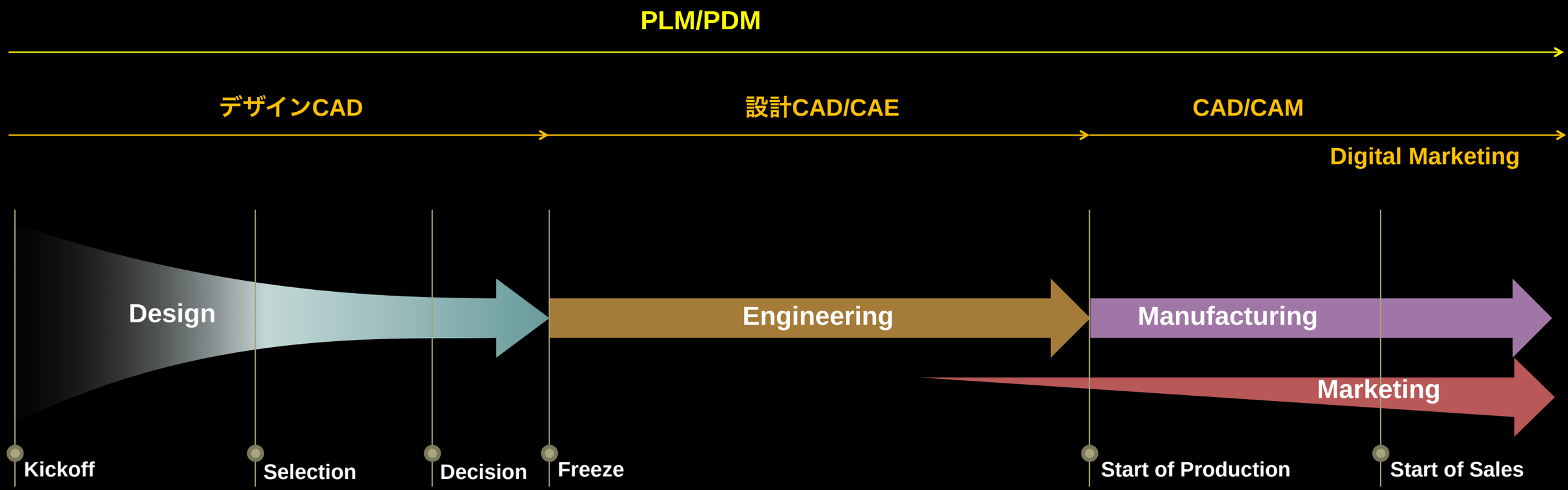
設計CAD ： 金型製作の為の3次元設計

主なハイエンドCADは Dassault Systems 社の “CATIA”，Siemens社 の “NX” など

- Nurbs の Brep ソリッドモデリング
- 体積を持った閉じたサーフェイスモデル
- 鉄板の厚み、パーツの内側までが正確に入力されたデータ
- 3万点を超える自動車部品がほぼすべてデータ化される
- 許容誤差は 0.001mm ほど

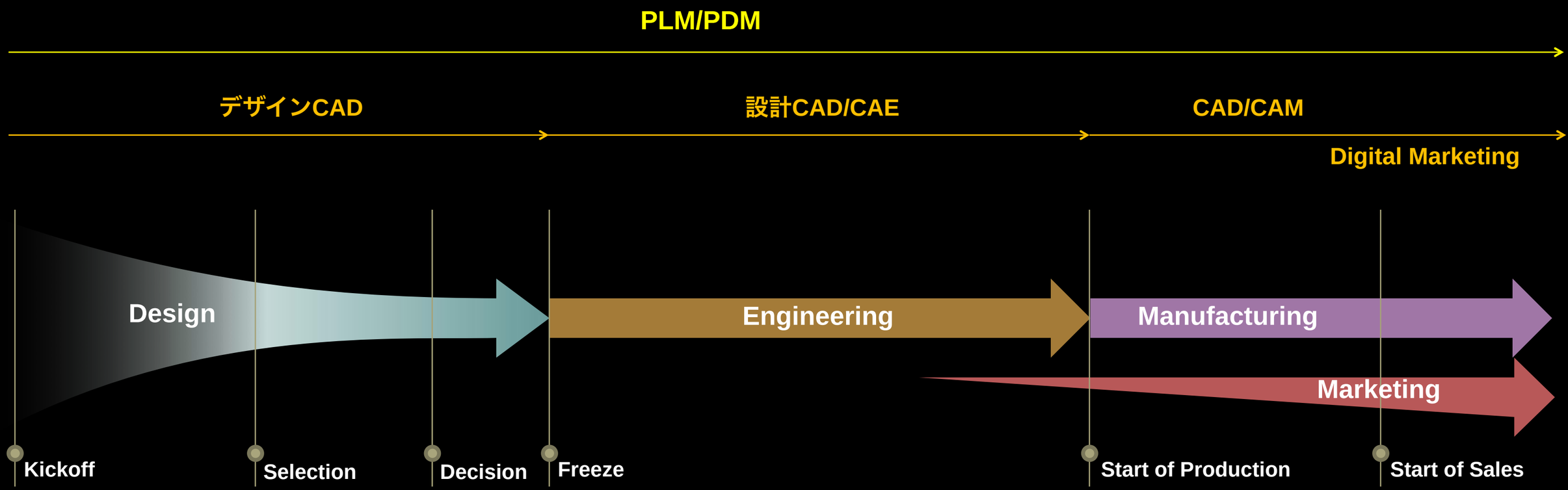
Chapter 1　自動車業界におけるCGの活用について。

自動車の開発プロセス



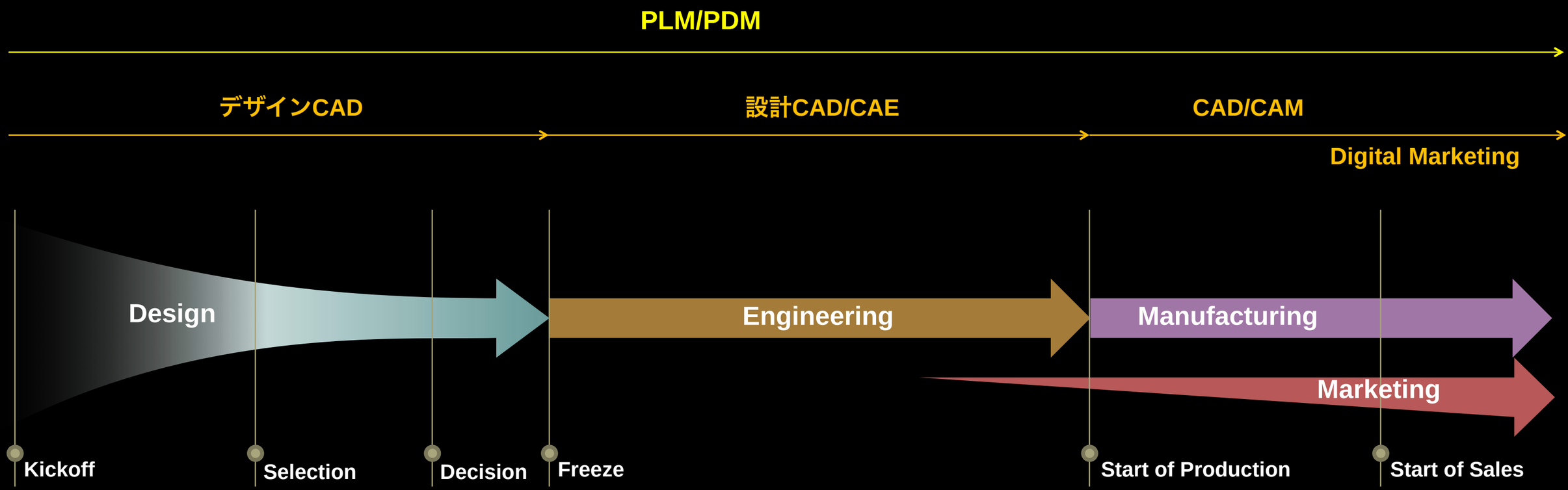
CADデータは開発プロセス全体に渡って常に存在し、様々な目的で活用されています。

自動車の開発プロセス



CADデータは開発プロセス全体に渡って常に存在し、様々な目的で活用されています。

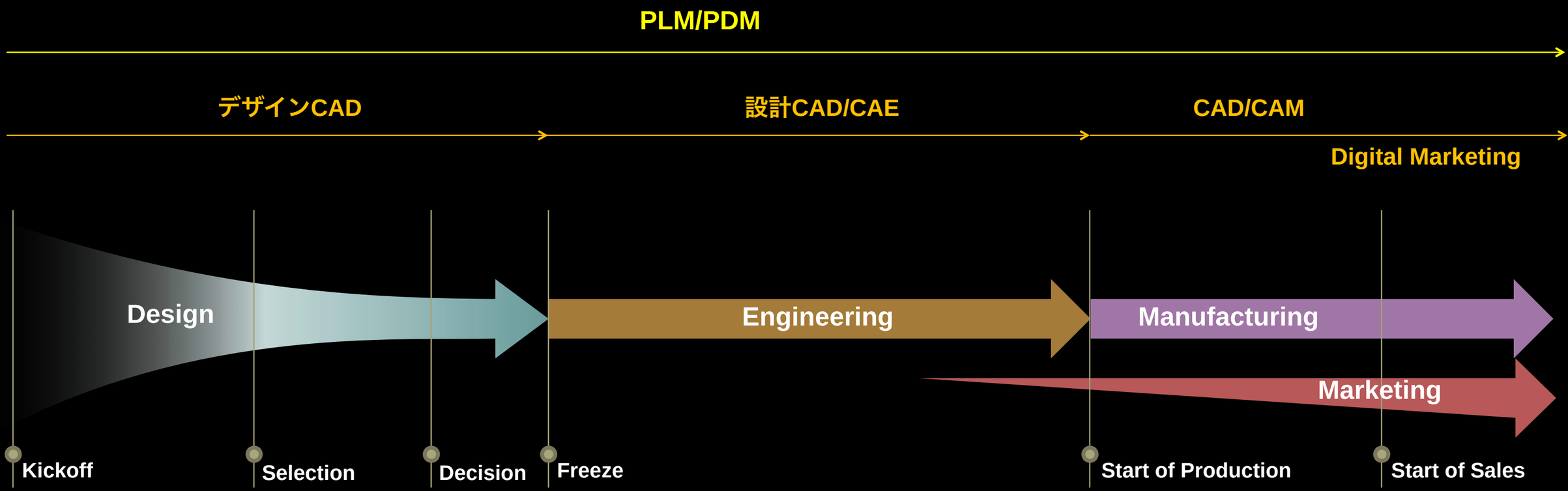
自動車の開発プロセス



CADデータは開発プロセス全体に渡って常に存在し、様々な目的で活用されています。

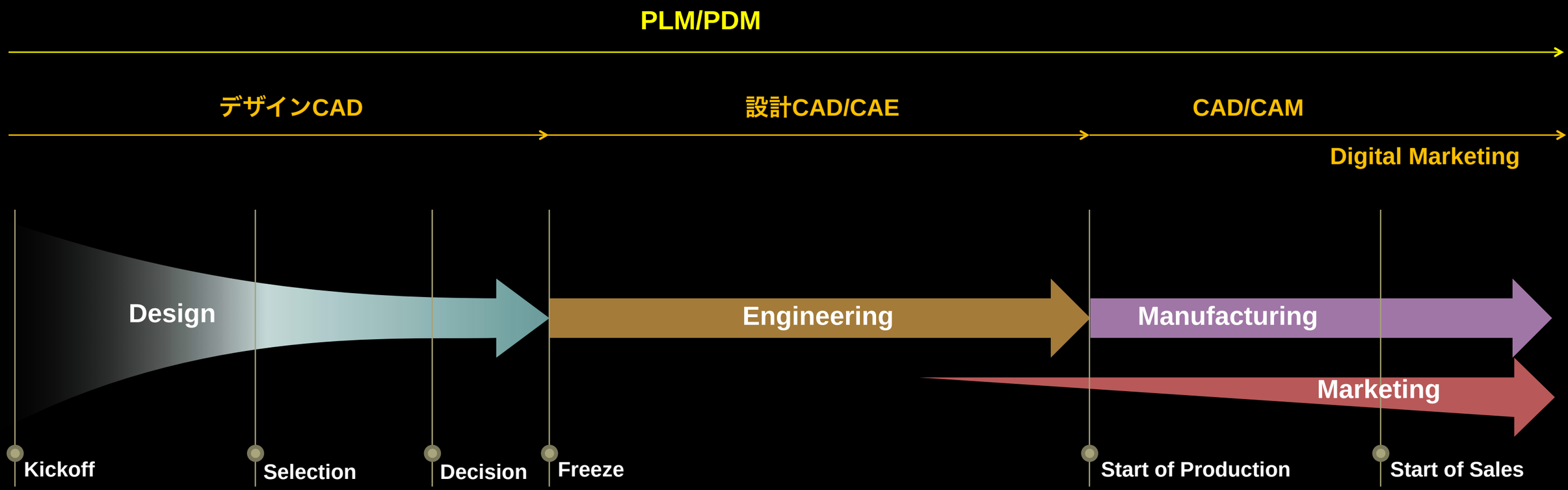
Chapter 1　自動車業界におけるCGの活用について。

自動車の開発プロセス



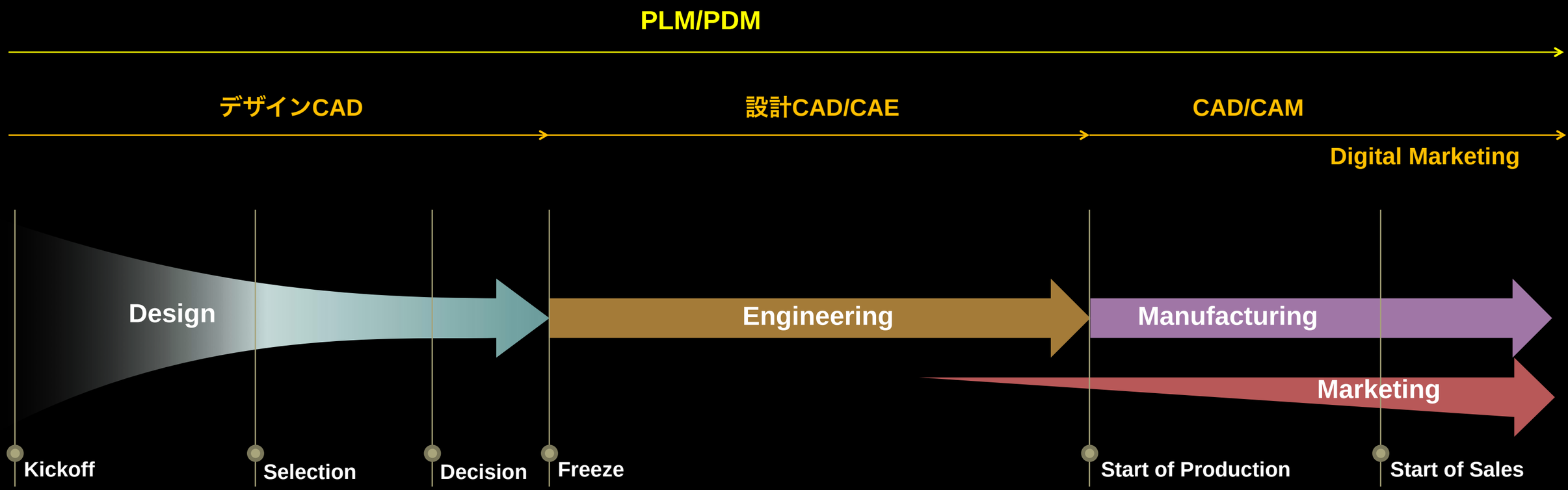
CADデータは開発プロセス全体に渡って常に存在し、様々な目的で活用されています。

自動車の開発プロセス



CADデータは開発プロセス全体に渡って常に存在し、様々な目的で活用されています。

自動車の開発プロセス



CADデータは開発プロセス全体に渡って常に存在し、様々な目的で活用されています。

Chapter 1　自動車業界におけるCGの活用について。

自動車の開発プロセス

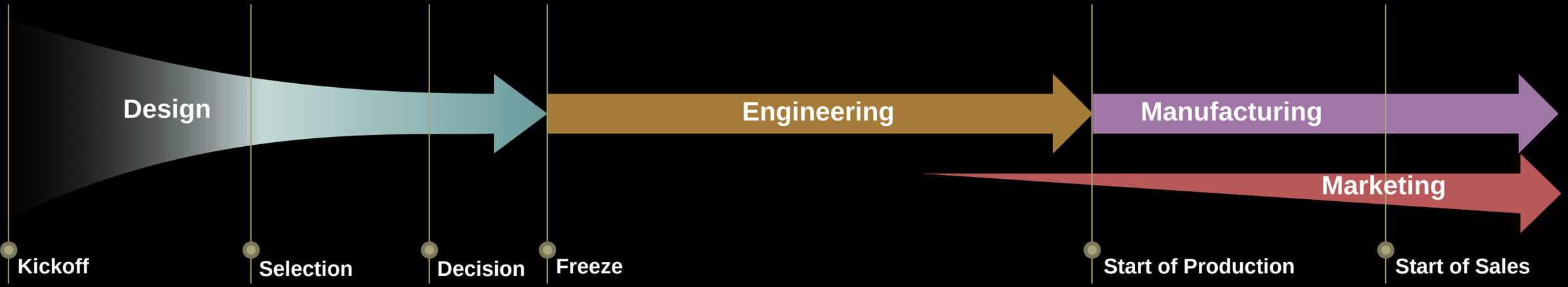
PLM/PDM

デザインCAD

設計CAD/CAE

CAD/CAM

Digital Marketing



- 社内プレゼンテーション
- カラー＆トリム
- プロモーションムービー
- モデル切削
- デザイン検討
- VR/MR 検討
- 空力計算（CFD）
- 熱伝導解析
- クラッシュテスト
- 音響解析
- 樹脂流動
- 破壊解析
- 金型設計
- NC加工製造
- 生産レイアウト設計
- カタログ
- Webコンフィギュレーター
- 広告映像

CADデータは開発プロセス全体に渡って常に存在し、様々な目的で活用されています。

自動車の開発プロセス

PLM : Product Lifecycle Management

- マーケティング目的で導入された製品管理システム

PDM : Product Data Management

- そこに、CADを含むデータの管理も追加

↓

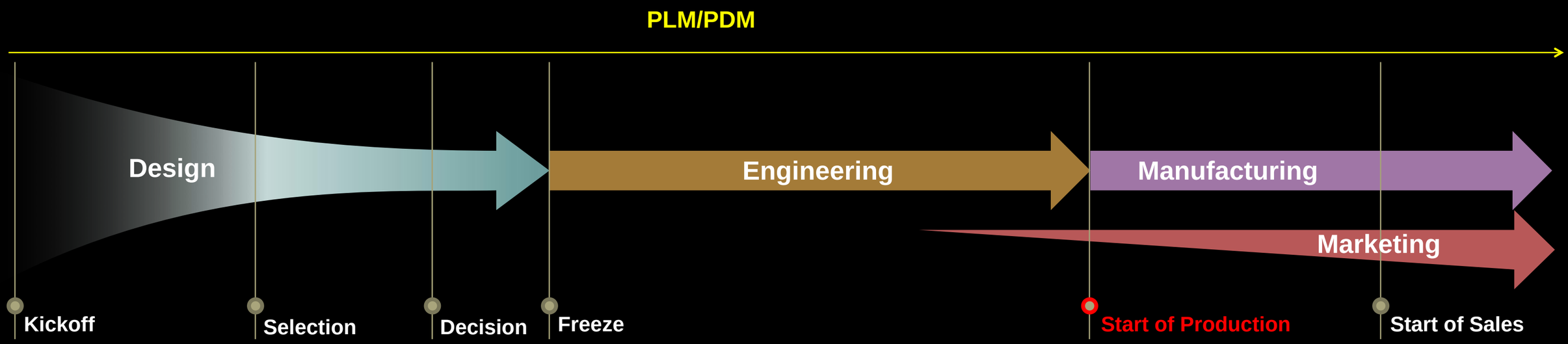
DMU : Digital Mock-Up

- PLM/PDM の管理によって集められた、

ビジュアライズ可能な１台分のCADデータ

Chapter 1　自動車業界におけるCGの活用について。

デジタルモックアップとは



※ここ以降の完全なCADデータを取得し、CG用途に手を加える。

CADデータをCG制作に使えるデータにするには様々な困難があります。

- 3万点を超える部品データ
- サプライヤーのデータ
- 異なるCAD同士のデータ変換
- 仕向け地・グレードの部品違い
- 位置情報の整理
- ポリゴン化の方法
- 柔らかいもののデータとの乖離
- マテリアル、UVの作成

自動車のカタログCG

デジタルモックアップを利用することで、やっとフルCGでのカタログ制作が可能になりました。

それでもまだまだ様々な困難があります。

- 印刷用高解像度
- 背景との合成
- クルマを走らせる必要性
- インテリアのライティング設定

Chapter 1 のまとめ

- クルマは彫刻作品です
- 自動車業界のCG活用は、ゲーム業界とはかなり異なっています
- CADデータは取り扱いが超大変
- クルマのカタログ写真をCGでつくるのってすごく大変

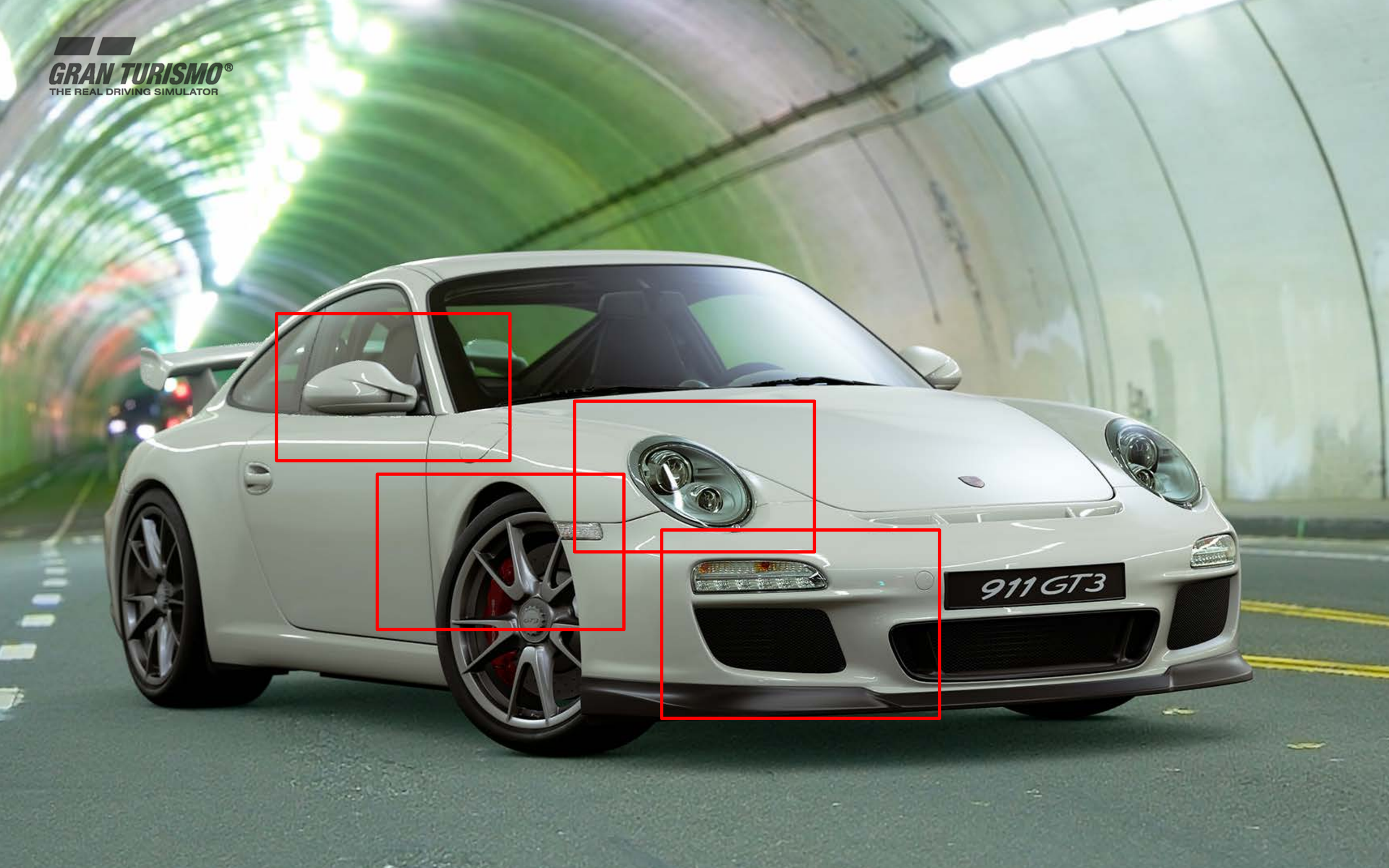
Chapter 2　「グランツーリスモ」におけるモデリングの道のり。

GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

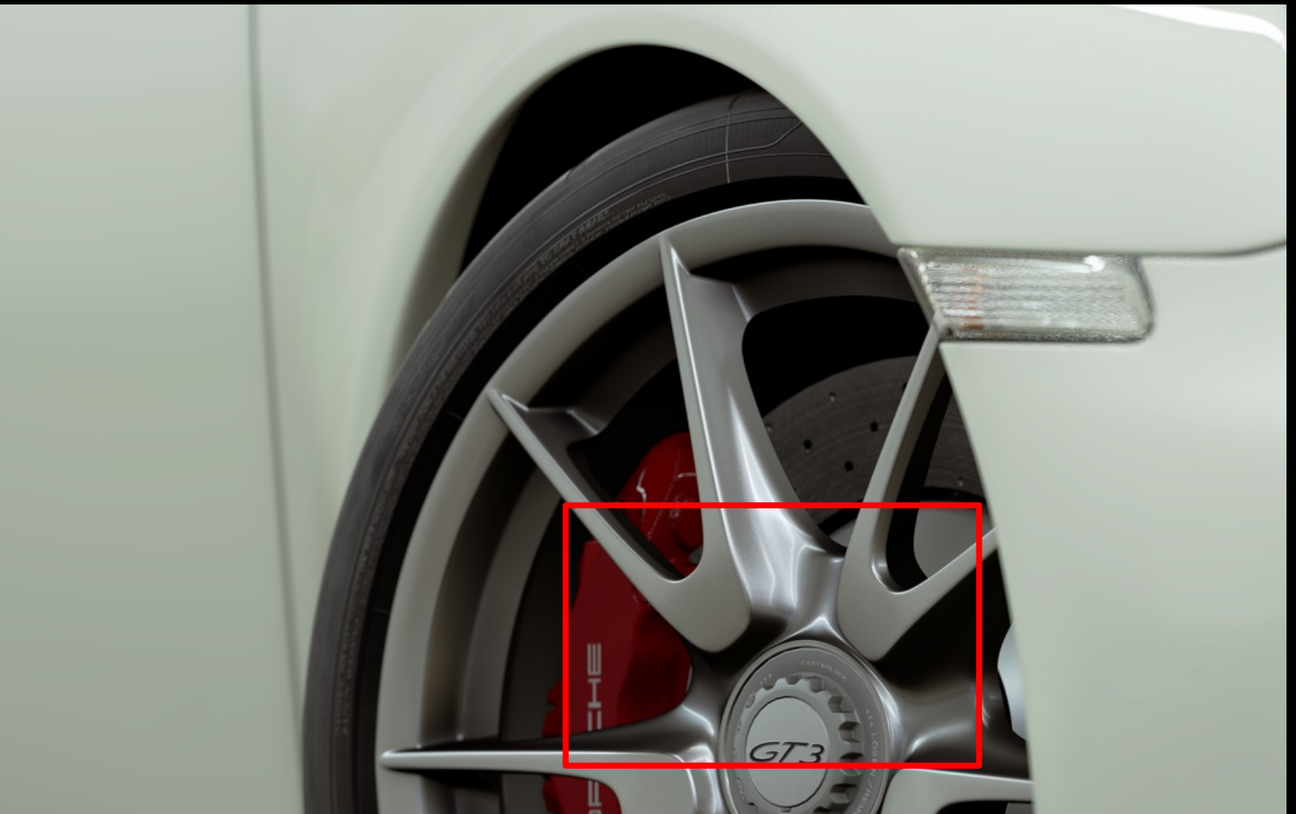
GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

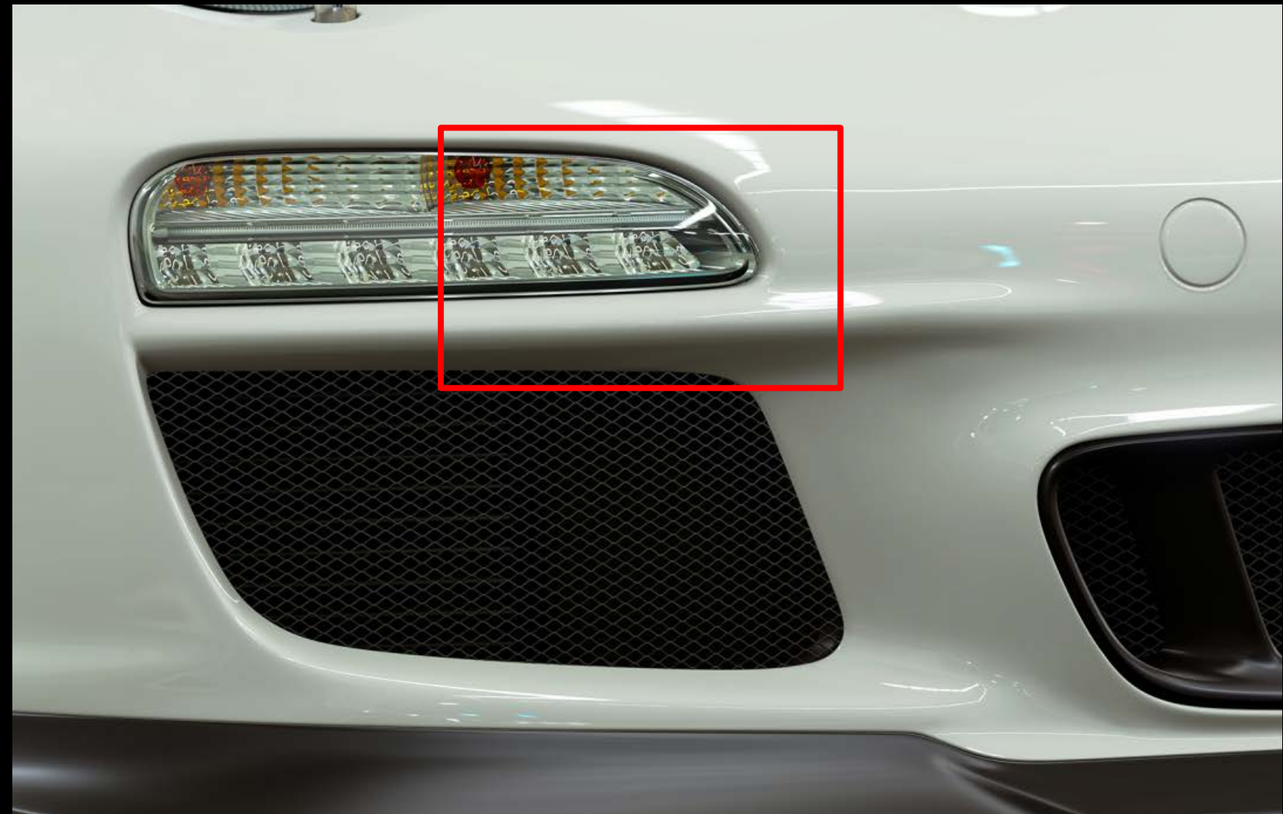
GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR



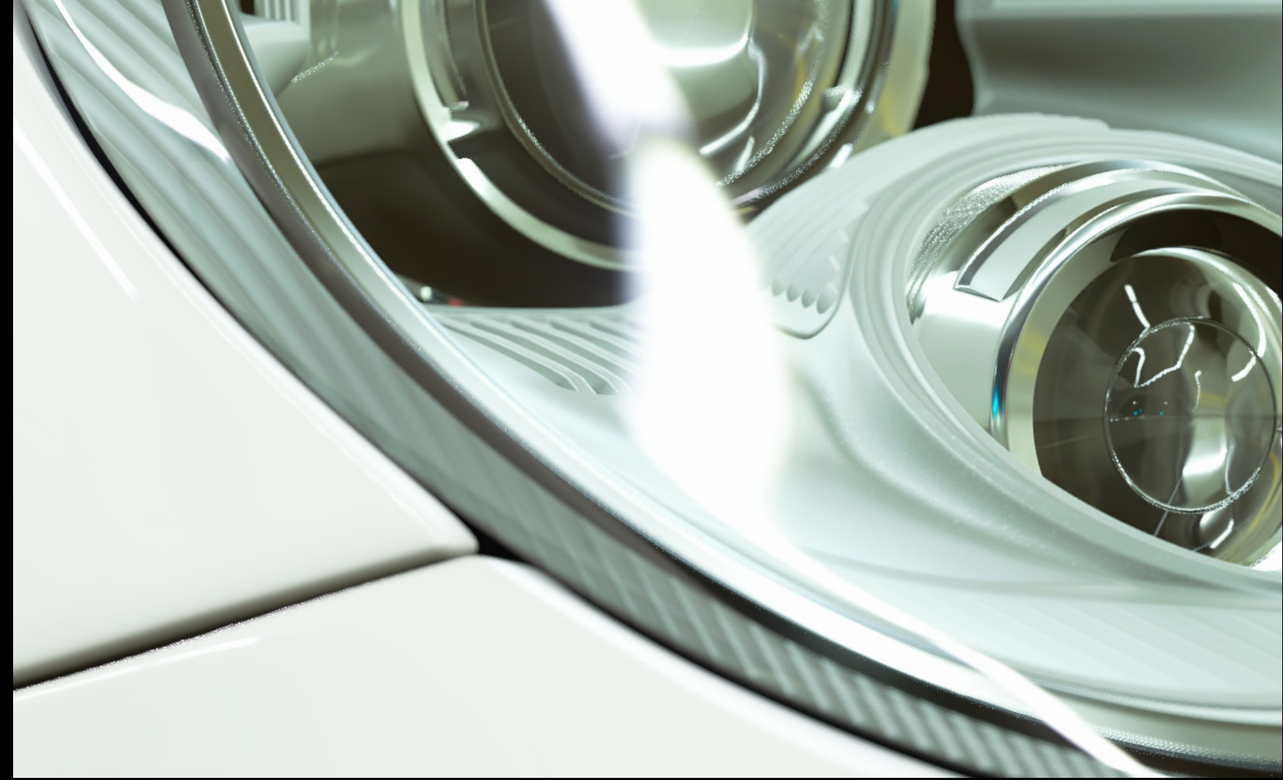
GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR


GT3



GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

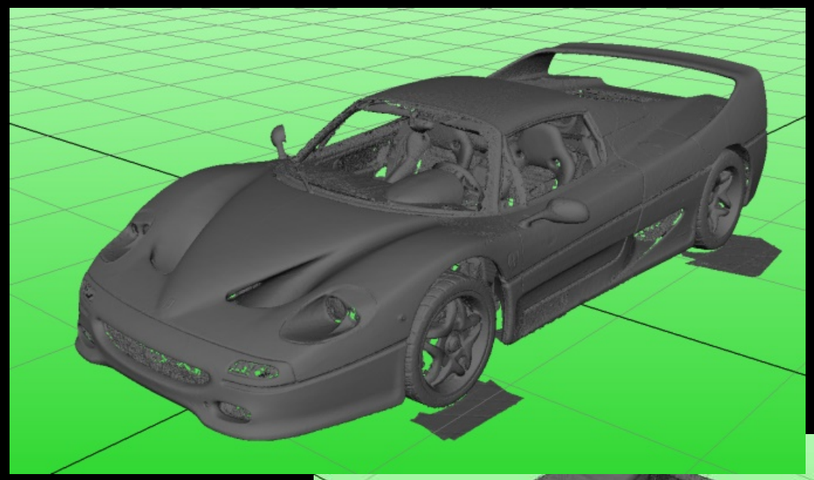


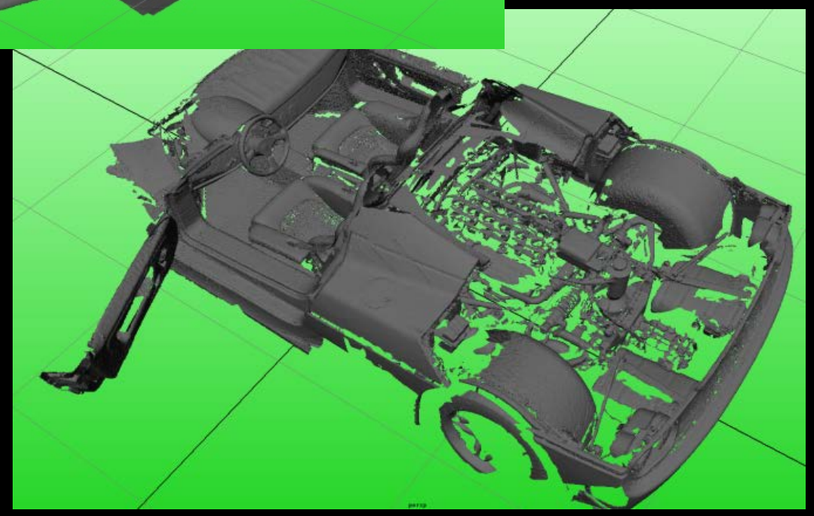
Chapter 2　「グランツーリスモ」におけるモデリングの道のり。

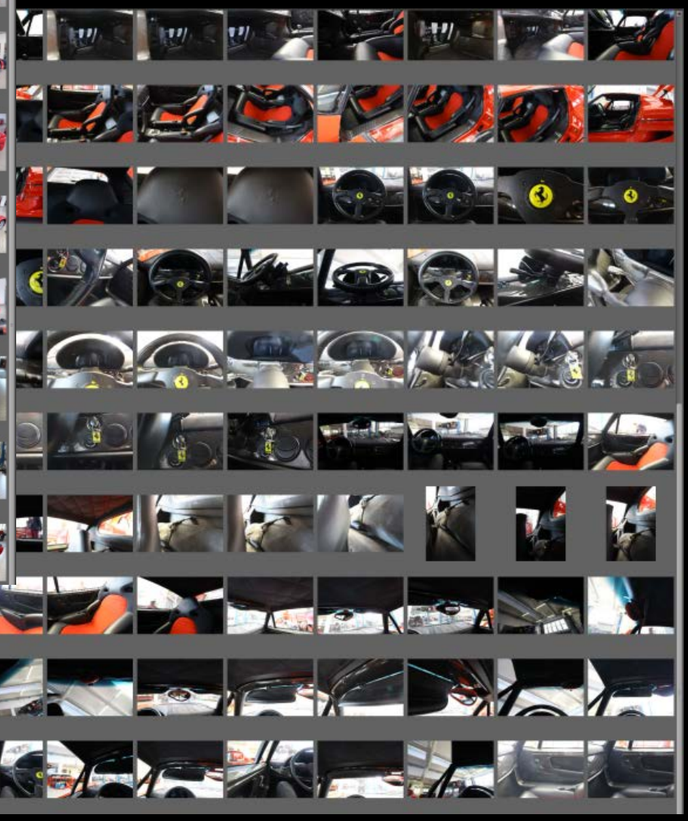
カーデザイナーと同じ視点でクルマをモデリングするためには、
様々な困難を乗り越える必要があります。

Chapter 2　「グランツーリスモ」におけるモデリングの道のり。

レーザースキャン、写真撮影、資料集め。

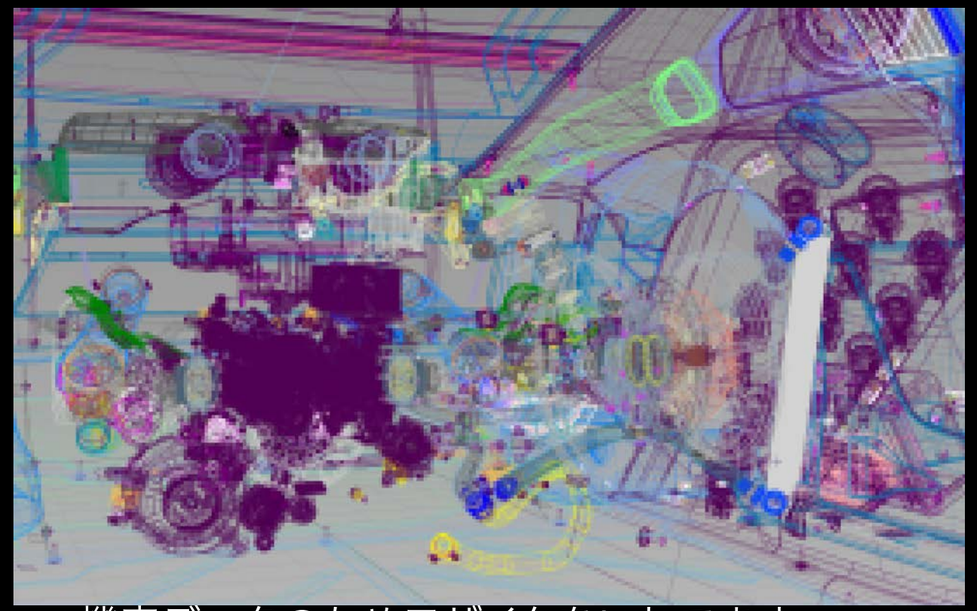






CADデータの入手

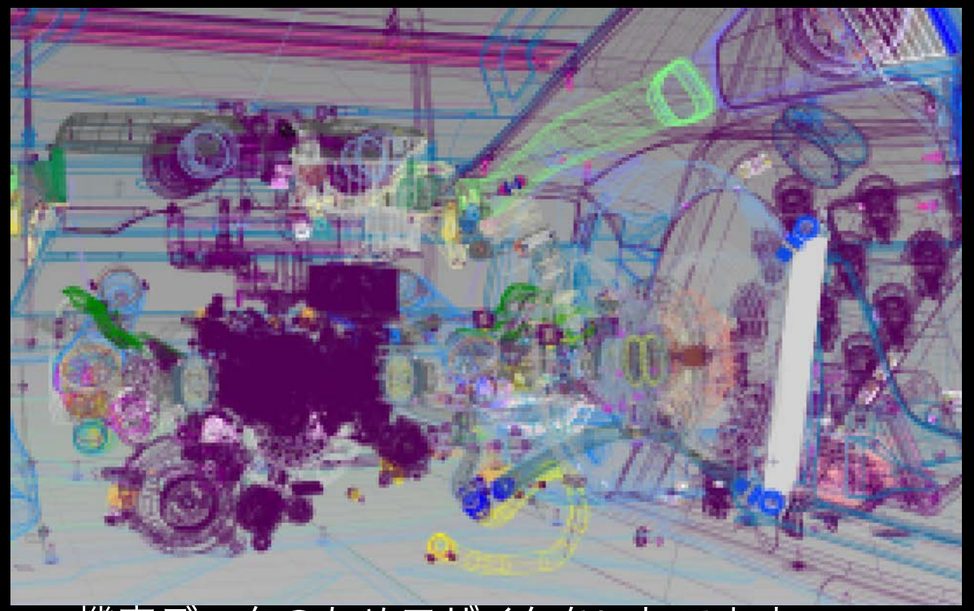
- 本来門外不出の機密データ
- ３万点を超える部品データの集合体



※機密データのためモザイクをいれてます。

CADデータの変換

- 設計CADのネイティブデータは開くだけでも困難
- 汎用フォーマットに変換するといろいろ情報がなくなる
- とにかく重い
- 特殊な Tessellation 手法が必要



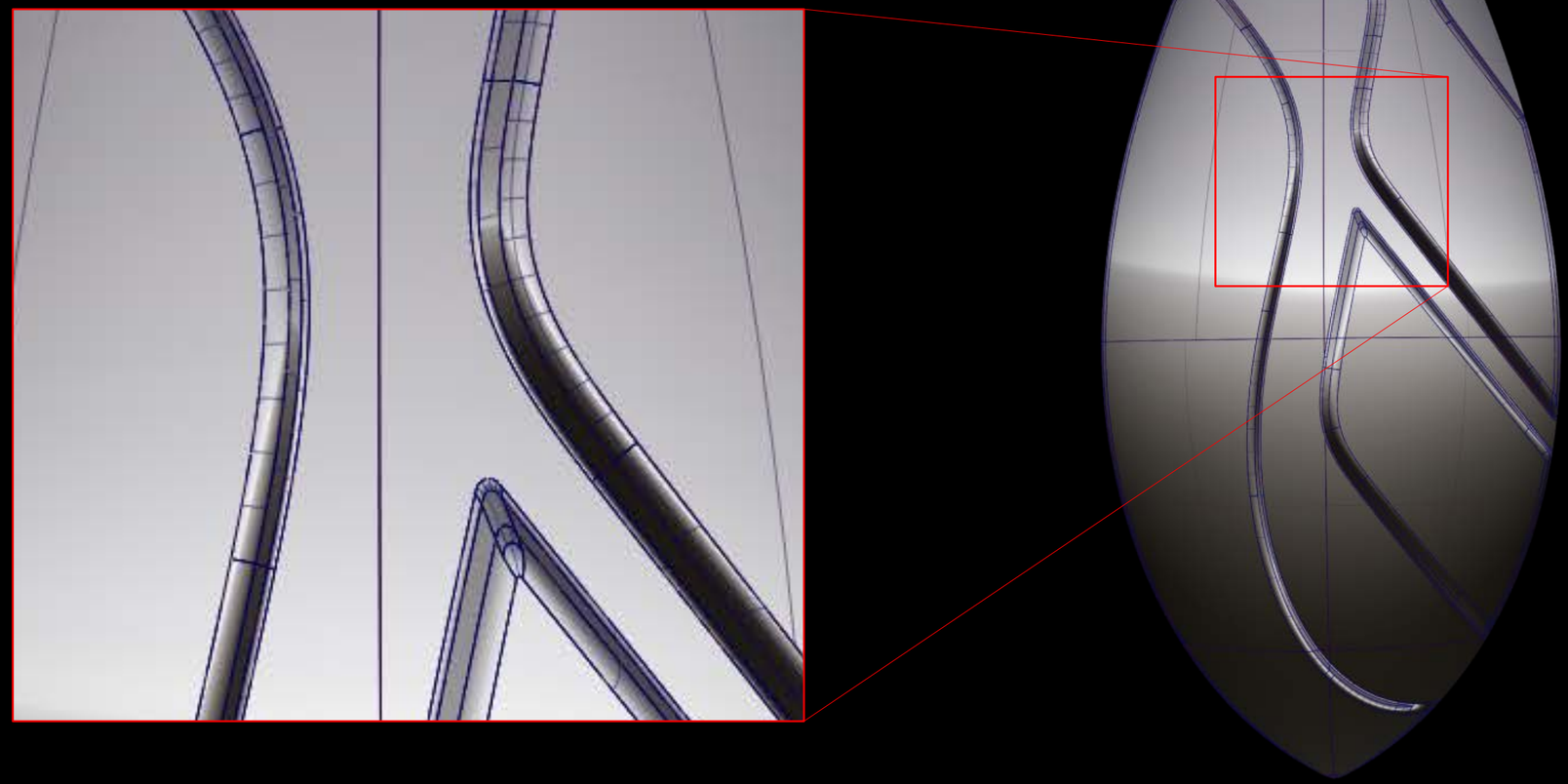
※機密データのためモザイクをいれてます。

CADデータの Tessellation とは？

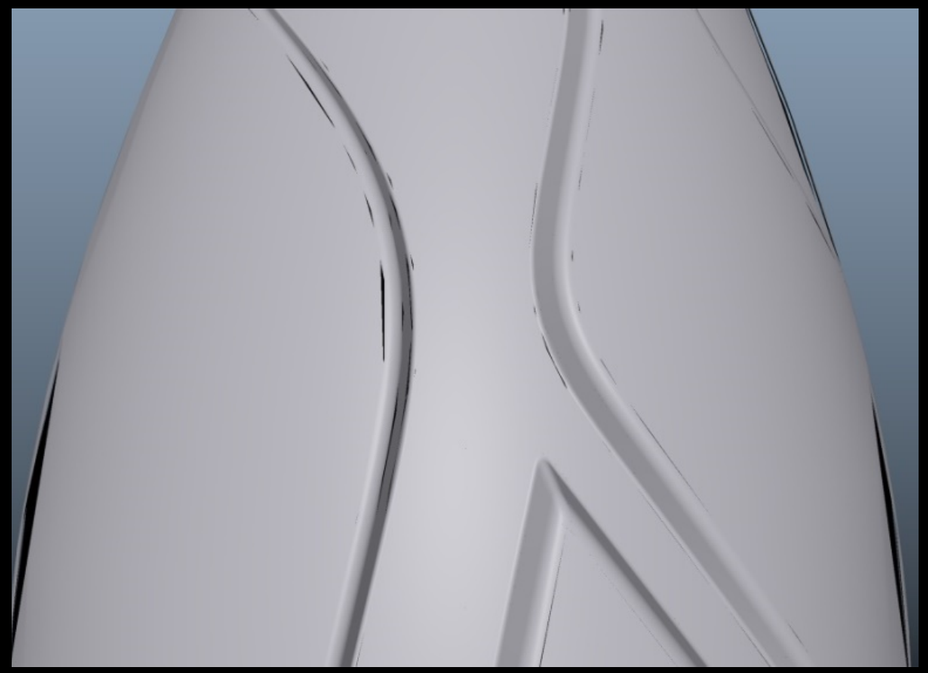
- Nurbs サーフェイスをポリゴンに変換する際の
  面の分割を行う手法の事です。

Nurbs サーフェイスデータ

- 数学的に定義されたなめらかな曲面が、
  ソフトウェア上で設定された許容精度内でなめらかに接続されている状態。



AutoStitch Tessellation



例えば、Maya内で Nurbs を 普通にポリゴン変換すると、
こんなふうに隙間が空いちゃう。

CADデータのテッセレーションでは、面同士の接続を考慮できる
専用のテッセレーションプログラムが必要でした。

- Open Inventor, OpenGL Optimizer (SGIのミドルウェアAPI)
- Opticore Opus Studio (現Autodesk所有)
- PI-VR VRED (現Autodesk所有)
- RTT DeltaGen (現Dassault Systems所有)
- Lumiscaph Patchwork3D
- etc…

“Aruba”
Autodesk Showcase/VRED の Tessellation Program

※Maya2013 から Mayaのライセンスでも使えるように(要コマンドライン実行)
　現在は Maya の UI からでも使用可能

AutoStitch Tessellation

- 現在は PiXYZ を使用

以前は1日作業だったCADデータの変換作業が1時間程度まで短縮しました！

近年、ゲームエンジンが建築や工業ビジュアライゼーションで活用されるようになって、

CADデータの変換もかなり身近になってきました。

- Unreal Studio ： Datasmith
- Unity : PiXYZ Plug-in

クルマの細部までをゲームデータで完全に再現するにはどうすればいいのか？

- スキャンデータもCADデータもあくまでリファレンス。
- ゲームデータは 60fps を死守しなければならない。
- ゲームデータは可能な限り軽いデータにしなければならない。

Subdivision Surface でモデリングするしかない！

Subdivision Surface ?

- Mayaでは現在 Smooth Mesh と呼ばれています。
- 元々 Pixar が映像制作のアセットデータの為に開発。
- Nurbs よりもずっと軽くて、
  どこまでも滑らかな理想的なデータ構造。
- SIGGRAPH 2012 にて、
  Pixar が OpenSubdiv としてオープンソース化。
- DirectX11 以降、
  GPU上でのリアルタイムテッセレーションが標準化。
- 『グランツーリスモ６』で一部車種に適用。

Gran Turismo 6 E3 Trailer (2013)

Subdivision Surface でクルマをモデリングするということ

Subdivision Surface はその性質上、実際に表示される面の位置を精密にコントロールするのが不可能です。
- Smooth Mesh を工業製品の精度に限りなく近づけながらモデリングしていきます。
- すべてアーティストの職人技にかかっています。

リファレンスのポリゴン化されたCADやスキャンデータでわからない細部や面の流れは、
アーティストが徹底的に写真を見ながら似せていきます。

グランツーリスモのカーモデル制作期間は６ヶ月（※そのうちモデリングにかかる期間は約４ヶ月)。

グランツーリスモのクルマは、他に類のないクローズアップに耐えられるカーモデルです。

ところで、自動車業界が Subdivision Surface を使う事はないの？

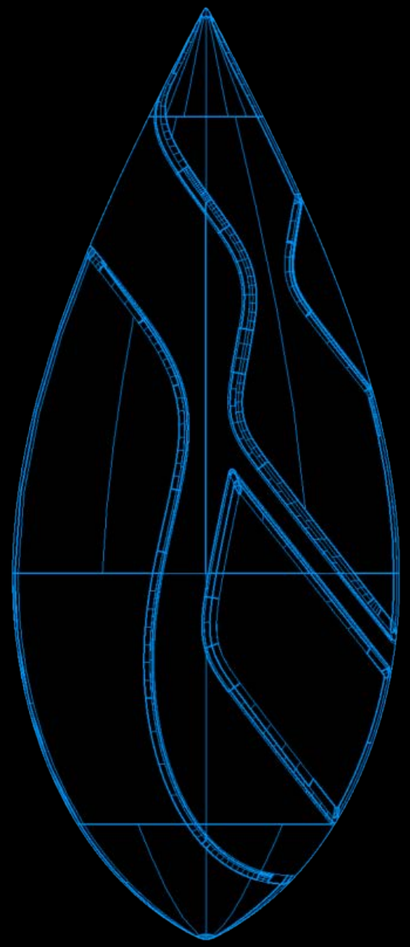
- T-Splineなんてのもあります。

主にコンセプトモデリング用途。
未だ本流は Nurbs サーフェイスモデリング

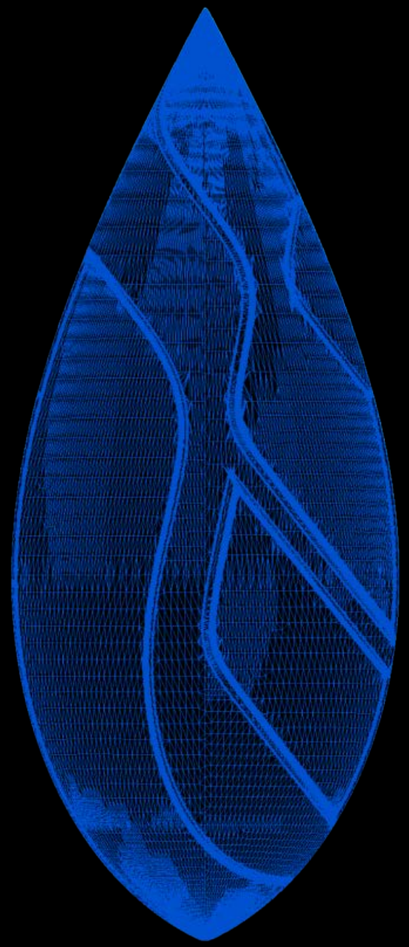
この辺の技術開発が進めば、
いつかCADデータをそのままゲームデータになんて夢もありえるかもしれません。
でもそれはきっとまだまだ先の話。

Wireframe 比較

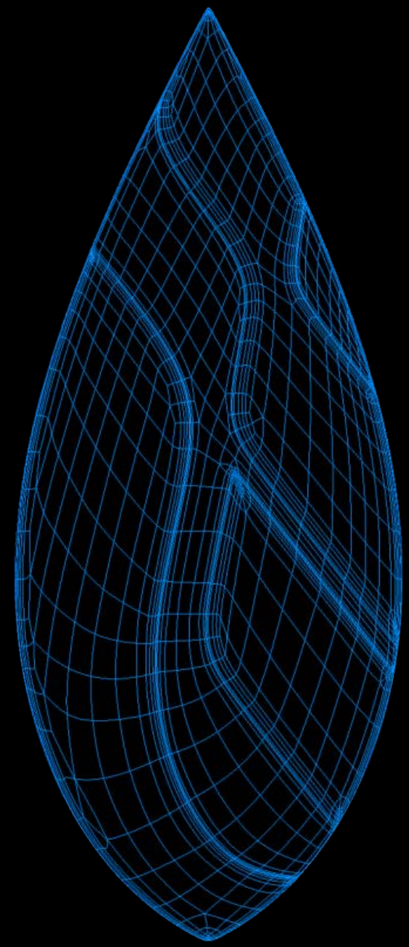
Nurbs



Polygon



Subdivision Surface



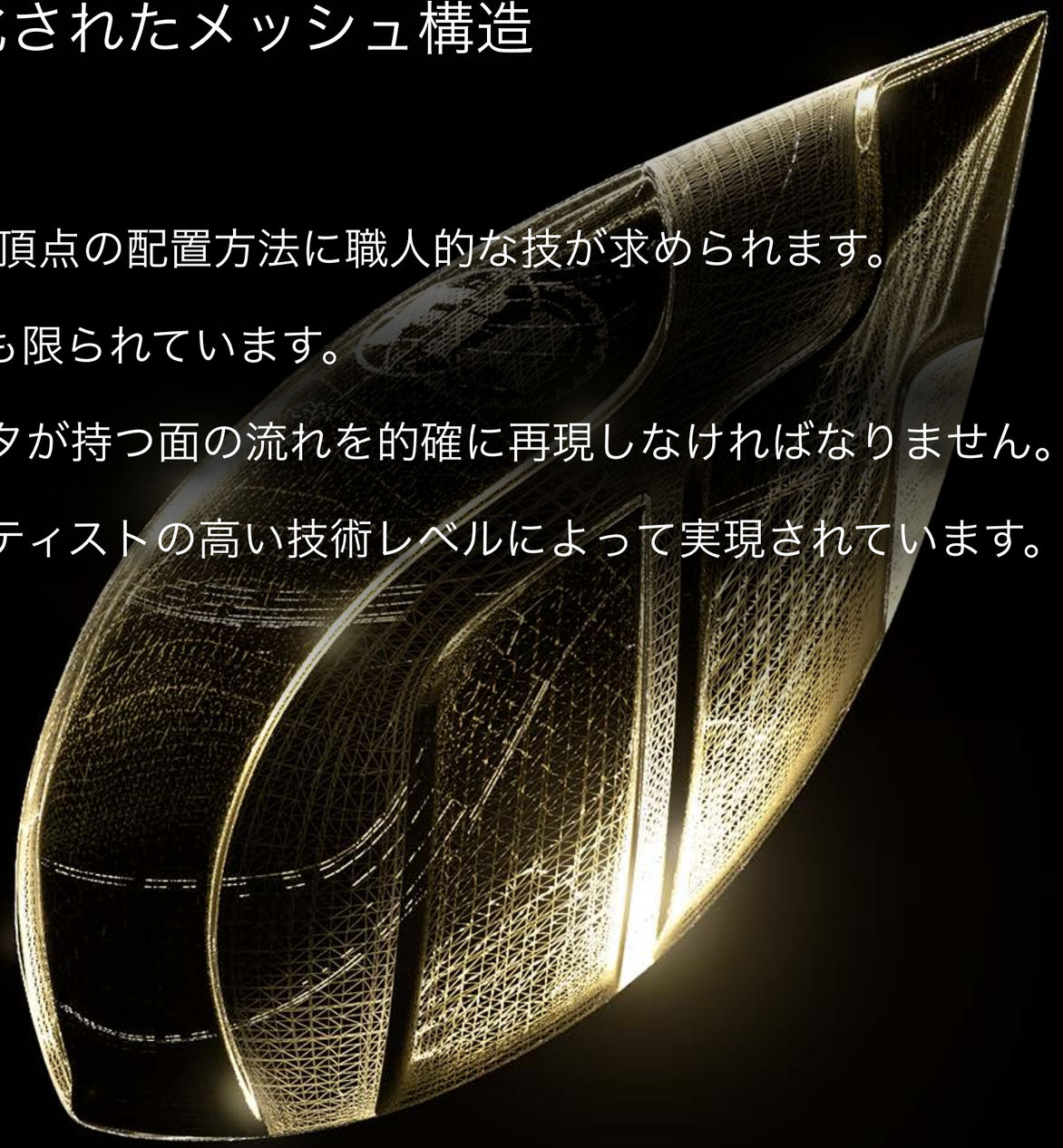
CAD データを、専用のプログラムで Tessellation して、
それをリファレンスに Subdivision Surface を作成します。

Chapter 2　「グランツーリスモ」におけるモデリングの道のり。

どこまでもクローズアップに耐えられる、軽量なモデルが完成しました。

極限まで最適化されたメッシュ構造

- Subdivision Surface でのカーモデリングには、頂点の配置方法に職人的な技が求められます。
- もちろんゲームデータなので、使えるリソースも限られています。
- 可能な限り少ない頂点で、 Nurbs の CAD データが持つ面の流れを的確に再現しなければなりません。
- グランツーリスモのカーモデリングは担当アーティストの高い技術レベルによって実現されています。



その他、細部の徹底的な造り込み

- ボディパネルの隙間の造形までとことん造り込む
- 見えるものはすべてつくる
- バリエーションも可能な限り再現
- グリルの奥の形状だって気を抜かない
- ステッチは数を数える
- たとえゲームの中で見えなくてもつくる。

→ 実は、Scapesを含めてインテリアの造り込みをゲームの中で見る方法があまりない。

GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

Chapter 2 のまとめ

- CADデータをメーカーから借りて、苦労して Tessellation してます
- CADデータも、あくまでリファレンスです
- Subdivision Surface で工業製品をモデリングするのは筋が良くないのですが、
  ほかに選択肢がないので苦労してモデリングしてます
- 基本的にアーティスト達の職人技によってモデリングされています
- 細部まで徹底的につくりこみます

神は細部に宿ります

Chapter 3　「グランツーリスモ」におけるレンダリングの道のり。

レンダリングの目的

- CGにおけるレンダリングの目的は、光の物理的な振る舞いを近似する事です。

Maxwell Render でレンダリング

- CGにおけるレンダリングのもうひとつの目的は、
  アーティストのクリエイションをサポートする事です。

物理ベースレンダリング？

- SIGGRAPH 2012　“Disney principled BRDF”

  実質的なスピードで動くように注意深く最適化され、

  かつアーティストによる直感的な制御が可能なシェーディングモデル。

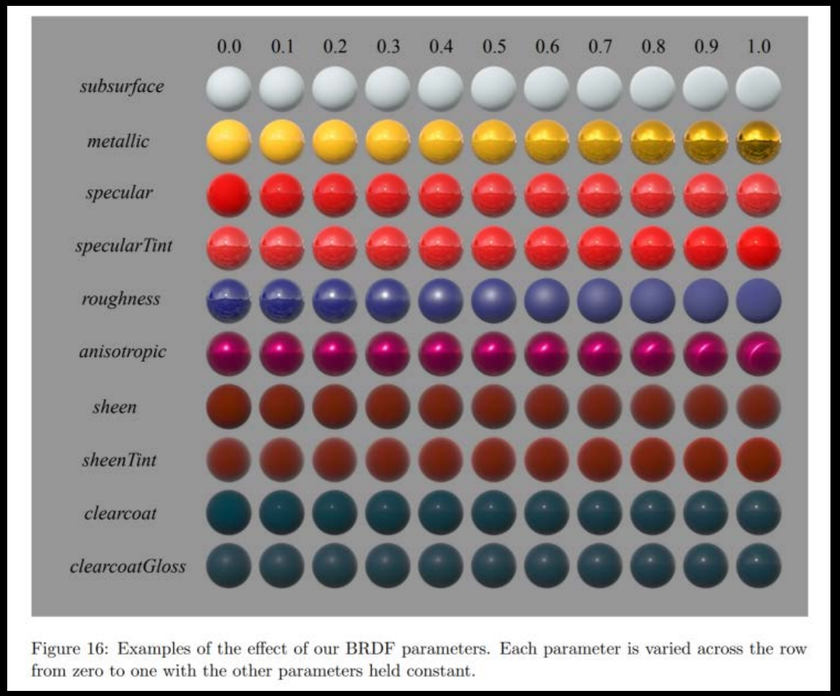


Figure 16: Examples of the effect of our BRDF parameters. Each parameter is varied across the row from zero to one with the other parameters held constant.

※Brent Burley “Physically Based Shading at Disney”
SIGGRAPH 2012 Course
Practical Physically Based Shading in Film and Game Production
p.13 より引用。

→ これによりラスタライズの絵が、

　レイトレーシングを使ったコマーシャルレンダラーに勝るリアリティを作り出せる可能性がでてきた。

ラスタライズで光を正確に扱うために

ライトマップ等のベイクテクスチャなんかの作成にはレイトレーサーが必須。

独自の物理シェーダを正しく扱える市販のレイトレーサーは存在しない。

ないならばつくるしかない。

内製の専用パストレーサーを開発

参考）　CEDEC2018 「ゲーム開発のためのレイトレーシング」 by 小澤 祐樹

- SH としてベイクデータを保持

  天候や時間(環境マップ)を変更しても、それに対応できる遮蔽情報や相互反射をベイクできた

- リファレンスとしても利用

ディファードレンダリングとフォワードレンダリング

- 多光源での物量に強く、ポストプロセスと相性がいいのがディファードレンダリング
- 複雑なシェーディングに対応できるのはやはりフォワードレンダリング

グランツーリスモは基本フォワードです。

複雑なシェーダー表現が必要だから。

60fps の確保は本当に大変。

エンジニアの最適化の努力は凄まじい。

アーティストの軽量化の努力も凄まじい。

結果的に４K対応がしやすかった。

今後も高解像度化は進む。

クルマの塗装

- 0.1mmほどの厚みに複数のレイヤー
- メーカーも日々新しい塗装を開発。いかに一般的な物理特性に囚われない新しい塗装を生み出すか。
- フレーク表現、配向制御、多層クリア、角度によって色が変わる等々。
- フェラーリの赤。　マツダのソウルレッド。

クルマの塗装

- 多角度分光測色計によってフルスペクトルで測定して、 BRDF フィッティング

- HDRワークフローでの正確な色変換

参考）　CEDEC2015 「ゲームのための色彩工学」 by 内村 創
　　CEDEC2017 「HDR 理論と実践」 by 内村 創

- 独自のフレークマテリアル

その他クルマに特化した各種表現

タイヤのディテールはクルマのリアリティにとっても大事

- タイヤパターンのディテール
- ゴムの歪みによる接地感

ライト周りは特殊なシェーディング表現のオンパレード

- リフレクター、プロジェクター、LED
- 透明な素材と反射素材の集合
- 点灯表現

GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

GRAN TURISMO®
THE REAL DRIVING SIMULATOR

リアルなレンダリングとは？

- 物理学も現実世界の近似モデルでしかない。
- アーティストは現実世界と近似モデルの誤差を埋める力も持っている。
- また、我々は時に現実世界にはない”リアル”をクリエイションしなければならない。

アーティストにとって、イテレーションスピードはこれ以上ない武器になります。

レイトレーシングのアルゴリズムも、正確な物理も、もちろん大事。
でもそれだけでリアルなレンダリングが簡単にできるわけではない。
全ての技術を集結したうえで、ゲームエンジンのラスタライズレンダラーでリアルを追求することは
実は“リアル”にたどりつく近道だったかもしれない。

Chapter 3 のまとめ

- 物理ベースは、ラスタライズの限界を超えるきっかけとなりました。
- 独自のパストレーサーを開発することで、ベイクデータも正確性を保つことができました。
- フォワードレンダリングならではの困難もありましたが、結果的にメリットも多かったです。
- クルマに特化した各種カスタムシェーダ等の開発により、説得力のある表現が可能に。
- アーティストにとってイテレーションは命。リアルタイムエンジンだからこそ、
  ここまでのクオリティに到達できたともいえるかもしれません。

Chapter 4　「グランツーリスモ」におけるムービー制作について。

Chapter 4　「グランツーリスモ」におけるムービー制作について。

Introducing the "Gran Turismo SPORT" September Update

ゲームエンジンでムービー用のレンダリングができるということ

- プロモーション用ムービー、すべて PlayStation4 でレンダリングしています。
- カメラ、ライティング、エフェクト、すべてがリアルタイムでできる。
- とことんまで造り込まれたカーモデルは、リアルタイムで眺める事で発見がある。
- レンダリング時間を気にせずにどんどんカットをつくれる。
- クルマのアニメーションは自分で走って演技する。
　（上手な人に走ってもらう事もあります）
- アンチエイリアス、デフォーカス、環境マップ、
　シャドウ、テッセレーション等はレンダリング時によりリッチに。
　（元々が60fps ≒ 17ms 以下なので、1,000倍の計算時間をかけても17秒程度しかかからない）
- PlayStation4 Proなら ４K HDR でレンダリングできる。

ムービー制作プロセス

- アップデート予定のクルマがそこそこ出来上がって走れるようになる
- カット制作担当数名がどんどんかっこいいカットを制作
- レンダリング時間があまりかからないので、ぎりぎりまでクルマのモデリング修正が行われていたり
- 限界まで作業可能な究極の並列作業
- ４K HDR の TIFF や DPX 連番で出力してムービーファイル化
- 編集担当が 3日から1週間程度で編集、完パケ
- YouTube ほか各種SNS、ソーシャルメディアにて配信

スポーツ中継の未来

E-Sport では、トッププレイヤーのパフォーマンスを全て記録することができます。

これは、スポーツ中継における最も重要な資産である決定的瞬間を完全に保全できるという事。

時間を止め、思うようにカメラを構え、その瞬間を再撮影する事ができます。

詳しくは、SIGGRAPH ASIA 2018 Real-Time Live! で。

- SIGGRAPH ASIA 2018　東京国際フォーラム

Real-Time Live!

12月7日金曜日、４：００pm – ６：００pm @Hall C (4F, C Block)

まとめ

まとめ

様々な困難を乗り越えて、

グランツーリスモはリアルタイムとプリレンダリングの境界を超える事ができたと思っています。

レイトレーシングかラスタライズかといった違いは、

現実をシミュレーションするレンダリングアルゴリズムのほんの１部分の違いでしかありません。

光の反射屈折を正確に記述できるのはレイトレーシングですが、

レイトレーシングを使えば現実を正確にシミュレーションできるといった単純な技術ではありません。

エンジニアの絶え間ない努力と、アーティストの比類なきこだわりによって、

ラスタライズでもここまでのクオリティが出せる事を証明できました。

まだ完璧ではありません。

我々はこれをベースに、レイトレーシングの中にあるレンダリングの未来へ進みます。

Q&A

ご清聴ありがとうございました。